

코어 타입 축방향 자속형 전동기의 개발 현황 및 향후 전망

조 원 영, 조 윤 현 / 동아대학교 전기공학과
 구 대 현 / 한국전기연구원 전동력연구그룹

1. 서론

인버터를 이용한 전동력 장치는 전기적 에너지를 기계적 에너지로 변환하는 변환기로서 힘 발생 원리에 따라 유도전동기, 동기전동기, 직류전동기로 크게 분류할 수 있다. 이들 전동기 장치는 응용분야에 따라 적합한 전동기가 적용되어야 하며 국제적 에너지 문제와 환경 문제에 비추어 고효율의 에너지 절약이 가능한 전동기가 간절히 요구된다.

최근의 기술동향은 전력 변환 기술과 영구자석 재료, 설계기술의 발전으로 BLDC 전동기, 릴럭턴스 전동기, 횡자속 전동기, Disc형 전동기 등의 고효율 전동기의 개발이 선진국 중심으로 활발히 연구되고 있다. 이는 교류 가변속 구동 기술의 보급에 따라서 그 응용영역이 확대되는 가운데 사용 목적에 따라서 전동기의 종류, 형상, 특성을 특화된 용도 지향적인 전동기가 요구되고 있다. 전력전자 기술과 마이컴 기술과 더불어 전동기 제어기술이 일반화됨으로 산업기기의 대표적인 각종기기에 요구되는 형상과 성능에 적합한 전동기의 설계 및 제작이 산업계에서 요구된다[1-6].

생산라인에 사용되는 공작 기기에서는 고속, 고정

도화와 기계자체의 기구의 간략화에 따르는 전동기의 소형화, 대출력화, 고기능화 요구되며, 기계에 일체화된 직접구동 전동기가 요구된다. 또한, 자동차 부분으로 대표적인 전기자동차에서는 운전 영역에서 고토크, 고효율 전동기가 요구되며, 차량구동 장치의 평가 장치로서 고토크를 요구한다. 이러한 관점에서 종래의 단위 무게당 3.2Nm/kg, 3.7Nm/kg에서 단위 무게당 9.4Nm/kg을 요구하는 새로운 전동기의 개발이 요구된다.

이러한 직접 구동 전동기의 관련된 기술로서 영구자석 응용기술, 전동기 축과 베어링, 냉각 등에 관련된 기술로 국내에서 해석은 물론 설계, 제작 등 관련기술의 미비로 연구가 진행되고 있지 않아 고효율의 직접구동 고토오크 저속 전동기의 개발이 미비한 실정이다[1-6].

II. 축방향 자속형 전동기의 구조 및 특징

1. 축방향 자속형 전동기의 구조

기존의 축방향 전동기는 일반적으로 코어리스 전동기 형태로서 고정자 슬롯에 코어가 없는 구조로 그 크기가 소형이며, 코깅 토크를 최소로 요구하는

가전제품용이나 사무기기용으로 주로 개발되었다. 코어가 있는 경우에도 롤링한 규소강판을 절단한 고정자 코어의 형태로 제작 상 어려움이 많았다.

반면에 본 연구에서 제안한 새로운 타입 축방향

자속형 전동기의 코어는 그 구성이 기존의 축방향 전동기와는 달리 고정자 치와 평판 적층 코어 및 고정 외부프레임으로 나누어진다.

외경에서 내경방향으로 슬롯팅된 원판 고정자 d 적층 코어에 적층된 고정자 치를 삽입하여 슬롯을 형성하는 새로운 타입을 갖고 있으며, 고정자 외부 프레임에 지지하는 구조로 되어 있다. 고정자 치는 돌극형 구조의 슬롯 코어로 적층되어 있으며, 회전자는 양측면 고정자 사이에 영구 자석을 삽입한 고정 프레임으로 구성되어 있는 양측면식(double-sided) 내전형(inner rotor type) 축방향 전동기라 할 수 있다. 축방향 자속형 영구자석 전동기의 단면도는 그림 1, 구조 및 형상은 그림 2에 각각 나타난다.

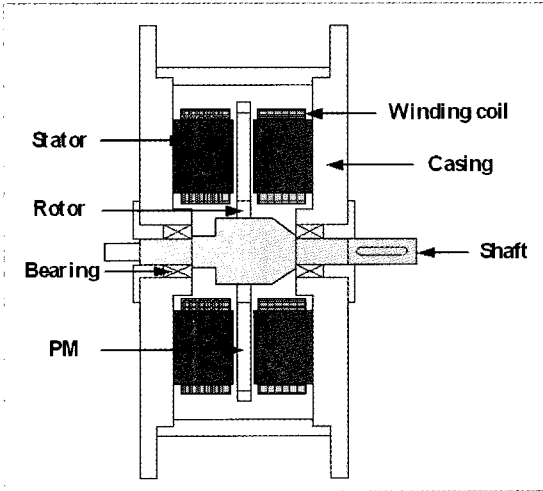


그림 1 축방향 자속형 영구자석 전동기의 구조: 단면도

2. 축방향 자속형 전동기의 특징

축방향 자속형 전동기는 자속의 흐름이 축방향으로 형성이 되므로 일반 경방향 자속형 전동기와 같이 축방향으로 적층이 불필요한 것이 특징이다. 또

한 그림 3의 비교에서와 같이, 일반 유도전동기의 토크 식이 축방향 적층 길이 l 과 회전자 외경 D 에 의해 결정이 되는 반면에 축방향 자속형 영구자석 전동기는 영구자석의 유효 단면적, 즉 $D_{out}^2 - D_{in}^2$ 에 비례하게 되므로 최종 출력 또한 축방향의 길이와는 관계없이 내, 외경의 길이의 조정에 의해 결정이 되는 것이 특징이다.

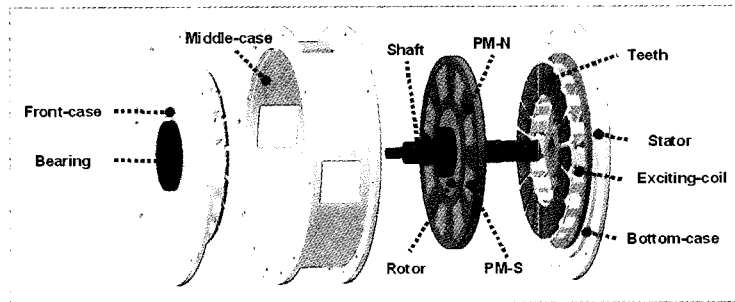


그림 2 축방향 자속형 영구자석 전동기의 기본 형상

일반적으로 부하장치에 고평토크를 공급하기 위해서는 전동기를 고속 운전하고, 감속기를 사용하여 필요한 고평토크를 얻게 되는데, 이 때 전동기의 고속운전을 하기 위해서는 인버터에 높은 주파수를 발생하여 전동기에 인가함으로써 전동기의 고속 운전을 위한 주파수 상승으로 전동기의 효율이 떨어지며, 소음 및 진동이 문제시 된다.

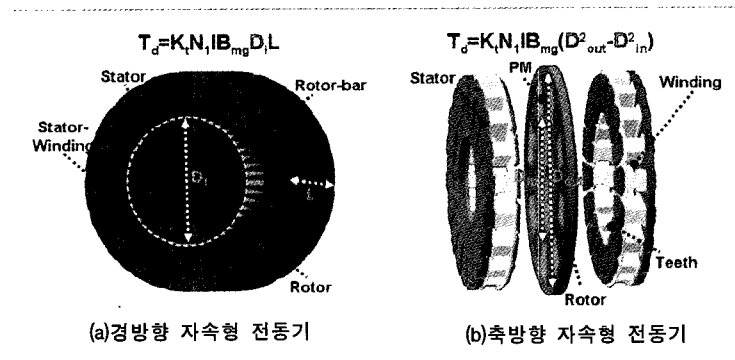


그림 3 경방향 및 축방향 자속형 전동기의 비교

또한 감속기 사용으로 동력 전달 효율이 낮아진다. 일반적으로 전동기의 손실은 주파수의 자속에 비례하여 철손이 증가하며, 동손의 표피효과손과 인버터의 스위칭 손실은 주파수에 비례한다.

반면에 본 연구에서 제시하는 축방향 자속형 전동기는 직접 구동 방식의 전동기의 적용으로 에너지 전달 효율의 극대화와 시스템의 고신뢰성의 구현이 가능한 기존 동력 전달장치 대비 10%이상의 고효율 전동기의 구현이 가능하게 할 수 있다.

또한 동일 출력당 체적비와 무게비는 일반 유도전동기에 대비하여 1/2~1/3정도이며, 단위체적당 및 단위무게당 고토크, 고효율, 고역율 운전이 가능하다. 또한 축방향 길이가 짧으므로 내구성이 뛰어나고, 정속운전이 가능하다는 장점이 있다.

III. 국내 · 외 관련 기술 현황

1. 국외 현황

축방향 자속형 전동기에 대한 연구는 1980년부터 미국, 일본, 독일 등에서 관심을 갖고 연구가 시작되었으며, 주로 공작기계용, 전기자동차용, 로봇용으로 50(kW)이하의 동력장치와 전기스쿠터 10(kW)로 개발되었다. 이는 단일 세트의 전동기로서 연구, 적용하고 되었으며, 최근에는 미해군 등에서 군사 무기에 적용을 하기 위한 연구 결과가 발표되고 있다. 이와 같은 전동기는 주로 rolling core 구조의 고정자로 이루어져 있으며, 제작상의 어려움으로 인해 상품화로 이루어지지 못하였다. 최근 들어 관련 논문 및 연구 개발 보고서 등을 통하여 실용 가능성 등을 제시하고 있으나 아직 상용화 하기에는 부족한 수준이다.

따라서 축방향 자속형 전동기의 경우 개발 중에 있는 기술인 관계로 축방향 자속형 전동기와 관련된 특허는 현재까지 특별한 것이 없는 것으로 판단되며, 단지 제작업체의 know-how로서 기술이전을 대단히 회피하고 있는 분야중의 하나이다.

2. 국내 현황

기존의 반경방향 자속형 유도전동기에 대한 연구

개발은 관련 연구소, 대학, 기업체등에서 오랫동안 활발히 진행되어 상품화되어 국내외에 판매되고 있다. 그러나 축방향 자속(Axial Flux)형 유도전동기에 대한 연구는 일부 대학과 연구에서 이루어지고 있는 실정이다.

동아대학교의 서보기기 연구실에서는 3년 전부터 축방향 영구자석형 동기전동기 개발에 착수하여 현재 연구 중에 있으며 관련된 국내 특허가 등록된 상태며 국제 특허는 미국과 중국에 각각 출원 중에 있다.

기존의 국내에서 연구중인 축방향 BLDC 전동기는 coreless 전동기로서 고정자 슬롯에 자심이 없는 구조로서 그 크기가 소형이며 코깅 토크를 최소화 요구하는 가전제품용으로 주로 개발되었다. 또한, 중소기업에서 전기자전거용으로 자심이 없는 pcb 기판에 코일을 권선한 coreless 브러시리스 전동기를 개발한 적이 있다. 자심이 있는 경우는 한국 전기연구원에서 풍력 발전기용으로 고정자의 규소강판을 rolling한 구조로 시작품을 개발한 적이 있으나, 전동기에 대한 연구는 국내에서 일부대학과 연구소에서 관심을 갖고 있다. rolling 자심이 아닌 고정자 자심을 갖는 멀티 구조의 평판형 BLDC 전동기에 대한 연구는 동아대 서보기기연구실에서 제안한 구조로서 일성기계(주)와 자체 자금으로 개발의 타당성을 입증하기 위한 시작품을 개발한 적이 있다.

3. 현 기술 상태의 취약점

축방향 자속형 전동기를 고효율, 소형화, 단위부피당 출력, 고토크화, 대용량화 시켜 최적화하기 위해서는 앞서 해결되어야 할 문제들이 산적해 있다.

먼저 축방향 자속형 유도전동기의 해석을 위한 3차원 해석 기술의 확립 및 설계 기술의 확립이 선행되어야 한다. 기존의 반경방향 전동기의 경우 2차원적 해석에 의해 어느 정도 근접한 특성 도출 및 해석이 가능하다. 그러나 축방향 전동기의 경우 2차원적 방법에 의해 정확한 특성 해석 도출이 힘들다. 때문에 3차원 전자계 해석 기술이 필수적이다.

또한, 축방향 자속형 전동기 자체와 관련해 해결되

어야 할 문제점으로는 기존의 20HP급 반경방향 자속형 유도전동기에 대한 회전속도, 토크, 출력 등의 사양 및 용도 조건을 만족하는 최적의 고정자 코어와 회전자 구조에 대한 설계가 이루어져야 한다.

축방향 자속형 전동기는 단위체적당 고토크로 출력이 증가하는 장점이 있는 반면, 반경방향 자속형 유도전동기에 비해 외경 크기가 증가함에 따라 샤프트 및 프레임 외부의 냉각구조장치를 실현하는 것이 중요 과제이다. 또한, 계절부분의 감소로 인한 철손의 증가를 억제함으로써 회전기의 고토크, 고효율을 높여 줄 필요가 있으며, 이와 같은 전기적인 문제와

동시에 관성 증가로 인한 회전자의 강력한 원심력에 견딜 수 있는 구조로의 제작이 이루어져야 한다. 또한 외경의 증가로 인한 축방향 불평형력에 의한 진동, 소음의 야기를 최소화하는 회전자구조를 구현하는 것도 과제이다. 그리고 기동 및 운전시 회전자에 작용하는 흡인력과 원심력에 의한 원주방향으로의 팽창에 의해 기동 혹은 운전 시 이완될 수 있으므로 강성을 보강할 수 있는 재질의 선택과 용접, 제작, 가공 등의 문제가 무엇보다 중요하다. 이에 대한 연구가 현재까지 국내에서는 미비하여 많은 연구가 필요한 부분 중의 하나이다.

회전자의 진동에 많은 영향을 주는 것은 베어링 부분으로 회전자 자체의 강성과 고유진동수와 함께 연구가 되어야 할 부분이다. 전동기의 강성을 부여하기 위하여 베어링을 단독 혹은 복렬 사용 여부와 복렬로 사용시 베어링 조합방법 검토가 되어야 하는 문제이다.

IV. 활용 방안 및 향후 전망

1. 활용 방안

기존 전동기 대비 부피가 1/2 이상의 감소로 동력 시스템의 소형화, 고효율화로 국내 전동기 시장의 새로운 시장 창출 및 방향을 제시한다.

경제적 여건을 분석해 보면 개발기술의 경우 향후 유지관리비가 거의 들지 않고, 기존의 산업용 회전에 비해 축방향 길이가 약 1/2배로 줄어들기

때문에 설치면적에서도 사용자 입장에서 보면 많은 경비를 줄일 수가 있고, 필요 부하에 의해 적정 토크를 발생함으로 사용 효율을 최대로 높이므로 기존 전력 소모에 비하여 5%이상 감소하는 에너지소모량으로 많은 경제성을 가지고 있다고 할 수 있다. 또한 멀티 구조의 전동기의 제작이 가능하므로 고토크용 동력 장치의 응용이 가능하다.

축방향 자속형 전동기의 경우 국가 에너지 절약과 산업설비 경비절감 및 청정에너지원으로서 많은 장점을 지니고 있기 때문에 국내 제품의 신기술 개발이라는 측면과 향후 기술개발 완료 시 다른 산업분야에서도 많은 파급효과를 얻을 수 있을 것이다.

또한 경방향 자속형 전동기의 경우 관련 자료 및 특성에 대한 연구 자료가 거의 노출된 관계로 중국 등 개발도상국들의 추격이 빠른 상태로 접근중이며 현재 DC 전동기 및 경방향 자속형 유도전동기의 경우 중국의 시장 점유율이 가파르게 상승하고 있다.

이러한 세계 추세에 맞추어 축방향 자속형 전동기의 개발과 이를 이용한 산업 전반의 제어용 전동기로의 확대가 절실히 요구된다. 더불어 개발된 제반 기술에 따른 축방향 자속형 전동기를 활용하여 그 활용 범위를 산업용 핵심 구동 부품으로 확대할 경우 그 잠재 수요가 막대할 것으로 전망된다. 또한 동력원으로서의 중대한 역할을 담당하고 있는 전동기 분야의 기술 확보로 수입 의존도가 높은 전동기 분야의 설계 및 해석, 제작 기술의 확보를 위하여 자체 연구가 계속되어야 할 것이다.

2. 향후 전망

축방향 자속형 전동기의 개발과 차후 전동기 개발 방향을 제시함으로써 산업용 핵심 부품으로서의 전동기 해석 및 설계 기술을 확보함에 따른 활용방안으로는 공장 자동화 기기의 동력 시스템 분야인 섬유기기의 텐타가공기, 쉬링크 드라이기, 패디망글기, 사이징 머신, 빔밍기, 코팅기, 인쇄기, 자동화 라인 등에 적용할 수 있다. 그 외에 직접 구동 회전기의 응용분야는 헤아릴 수 없이 많이 있으며 우선적으로 산업용 기기, 공작기기, 로봇축 등으로 활용이

가능하다. 또한, 전기자동차 동력장치, 전기스쿠터, 엘리베이터 등 파급효과는 거대하다고 할 수 있다.

V. 결 론

현재 산업용으로 사용하는 전동기는 주로 7.5kW와 15kW의 반경방향 자속형 유도전동기를 사용하고 있다. 용도로는 섬유기계의 구동용으로 인버터에 의해 속도와 토크를 제어함으로 고효율, 고신뢰성을 요구한다. 따라서 코어 타입 축방향 자속형 전동기의 개발에 따른 고 신뢰성과 고효율의 전동기 설계 기술에 의한 최적 전동기를 적용하면 새로운 전동기 형태의 적용으로 설비의 구조개선 및 경비 절감 효과를 가져 올 수 있을 것으로 사료된다.

또한 국가 에너지 절약과 산업설비 경비절감 및 청정에너지원으로서 많은 장점을 지니고 있기 때문에 국내 제품의 신기술 개발이라는 측면과 향후 기술개발 완료 시 다른 산업분야에서도 많은 파급효과를 얻을 수 있을 것이다. 그리고 현재 세계적으로 이러한 기술이 도입단계로 기술개발 시에는 선진국과의 기술과 가격경쟁에서도 우위를 점할 수 있기 때문에 수출 등을 통하여 많은 외화획득도 가능하므로 전동기의 본 분야에 대한 기술투자는 더욱 확대되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 조원영, 조운현, 구대현, 전연도, "평판형 영구 자석 BLDC 전동기의 코깅 토크 저감에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제 55권 10호, 2006.
- [2] WonYoung Jo, YunHyun Cho, DaeHyun Koo,

YonDo Chun, "Design and Analysis of an Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Machine", KIEE Journal of Electrical Eng. & Tech., 제 1권 3호, 2006.

- [3] YonDo Chun, WonYoung Jo, YunHyun Cho, DaeHyun Koo, "Cogging torque reduction in a novel axial flux PM motor", Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2006, pp. 290-293, 2006.
- [4] 조원영, 조운현, 전연도, 구대현, "평판형 영구 자석 BLDC 전동기의 코깅 토크 저감을 위한 특성 해석", 대한전기학회 하계학술대회, 전기기기 및 에너지변환시스템부문회, B권 1180-1182, 2005.
- [5] 조원영, 조운현, 전연도, 구대현, "양측면식 평판형 영구 자석 동기 전동기의 오버행 효과에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회, 전기기기 및 에너지변환시스템부문회, B권 1174-1176, 2005.
- [6] WonYoung Jo, YunHyun Cho, YonDo Chun, DaeHyun Koo, "Characteristic Analysis on Overhang Effect in Axial Flux PM Synchronous Motors with Slotted Winding", IPENC 2006, Vol. 3 1790-1793, 2006.
- [7] Jacek F. Gieras, Rong-Jie Wang, Maarten J. Kamper, "Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 2004.
- [8] Metin Aydin, "Axial Flux Surface Mounted Permanent Magnet Disc Motors for Smooth Torque Traction Drive Applications", University of Wisconsin-Madison, 2004.